

四国における中央構造線活断層系のトレンチ調査 — イベント層準の認定について —

森野 道夫

Trench excavation surveys along the Median Tectonic Line active fault system in Shikoku, southwest Japan — Identification of faulting event horizons —

Michio Morino

Abstract

The most important works in trench excavation survey is to identify horizons of fault event. When the faulting activities through whole of Shikoku area are discussed, locality and historical time of them over extensive area is estimated by common data of events obtained from each trench site. If this estimation is wrong, a generalization of whole history of faulting activities can not be completed. This paper presents important notices on the identification of faulting event horizons including concrete examples from trench excavation surveys along the Median Tectonic Line active fault system in Shikoku

(要 旨)

トレンチ調査では、イベント層準の認定が最も重要である。四国全体の断層活動を検討する場合、各トレンチ地点で共通する時期のイベントから、広い範囲に及ぶ断層活動の範囲や時期を推定する。そのとき誤ったイベントが想定されていると、全体を総括できなくなる。本論文はイベント層準の認定について、四国の中央構造線活断層系で掘削されたトレンチ調査から具体的な事例を示し、その留意点をまとめたものである。

キーワード：活断層，トレンチ調査，イベント層準，中央構造線

Keywords: active fault, trench excavation survey, faulting event horizon, Median Tectonic Line

1. はじめに

中央構造線（以下、MTLと呼ぶ）は、領家帯（あるいは和泉帯）と三波川帯の地質境界をなす断層であり、中部地方から伊勢湾、紀伊半島、四国を経て、九州に至る延長1,000km以上の地質構造線である。これに一致ないし並走する断層で、後期更新世以降も活動的な断層はMTL活断層系と呼ばれる（岡田，1992）¹⁾。MTL活断層系のうち、紀伊半島西部から四国に至る区間が最も活動的といわれている。その活動様式は右横ずれであり、水平方向の平均変位速度は四国で5～10m/千年（岡田，1968²⁾，1970³⁾など）、紀伊半島西部で1～3m/千年（岡田ほか，1976）⁴⁾と見積もられている。MTL活断層系は右横ずれとともに、逆断層成分を有しており、上下方向の平均変位速度は、おおむね水平方向の10分の1程度である（岡田，1992）¹⁾。

MTL活断層系のうち最も活動的な地域である四国では、各種機関により30地点以上のトレンチ調査が行われている（図-1）。これらの調査結果から、四国全体にわたるMTL活断層系の活動履歴やセグメント区分が解明されることが期待される。広い範囲に及ぶ断層活動の範囲や時期を解明するためには、各トレンチ地点で認められるイベントで、活動時期が重なるイベントを見いだす必要がある。しかし、トレンチ壁面の断層は複雑であり、イベントが発生した時期を指示する層準の認定は容易でない。また、地層の¹⁴C年代値は逆転や若返りがあり、一義的に決定できない。このため、トレンチ調査結果をそのまま総括しても、活動履歴やセグメント区分に関して、信頼性の高い結論は得られないことがある。イベント層準や地層の¹⁴C年代値を再検討する必要がある。森野ほか（2002a）¹⁰⁾は、四国のMTL活断層系を対象としたすべてのトレンチ調査結果について、イベント層

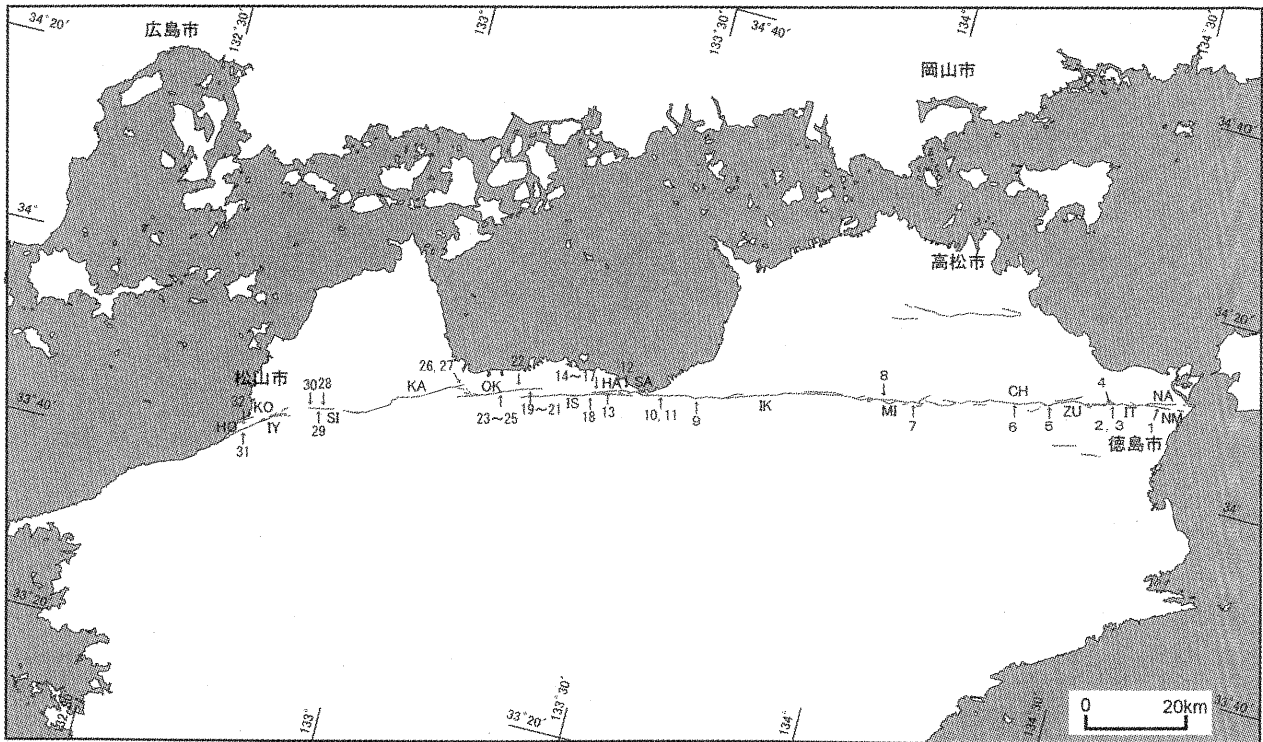


図-1 四国MTL活断層系とトレンチ調査地点位置図。断層の位置は後藤ほか(1998⁹⁾, 1999⁹⁾, 中田ほか(1998⁷⁾, 1999⁹⁾, 岡田ほか(1998⁹⁾, 1999a¹⁰⁾, 1999b¹¹⁾, 堤ほか(1998a¹²⁾, 1998b¹³⁾による。NA:鳴門断層, NM:鳴門南断層, IT:板野断層, ZU:神田断層, CH:父尾断層, MI:三野断層, IK:池田断層, SA:寒川断層, HA:畑野断層, IS:石鎚断層, OK:岡村断層, KA:川上断層, SI:重信断層, IY:伊予断層, KO:米湊断層, HO:本郡断層。1:段関・大代トレンチ, 2, 3:川端Bおよび川端B予察トレンチ, 4:川端Aトレンチ, 5:熊谷寺東南トレンチ, 6:上喜来トレンチ, 7:池ノ浦トレンチ, 8:上野トレンチ, 9:平山トレンチ, 10, 11:中之庄および上石床トレンチ, 12:上野田トレンチ, 13:市木トレンチ, 14~17:東予変電所C, F, GおよびSK-2トレンチ, 18:本郷トレンチ, 19~21:岸ノ下, 岸ノ下東および岸ノ下西トレンチ, 22:飯岡Vトレンチ, 23~25:飯岡I, IIおよびIIIトレンチ, 26, 27:氷見1および氷見2トレンチ, 28:高井東トレンチ, 29:高井トレンチ, 30:高井西トレンチ, 31:市場Bトレンチ, 32:本郡トレンチ。

Fig. 1. Distribution of the MTL active fault system and locations of trench sites in Shikoku. Distribution of the MTL active fault system is after Goto et al. (1998⁹⁾, 1999⁹⁾, Nakata et al. (1998⁷⁾, 1999⁹⁾, Okada et al. (1998⁹⁾, 1999a¹⁰⁾, 1999b¹¹⁾, and Tsutsumi et al. (1998a¹²⁾, 1998b¹³⁾). NA: Naruto fault, NM: Naruto-minami falt, IT: Itano fault, ZU: Zunden fault, CH: Chichio fault, MI: Mino fault, IK: Ikeda fault, SA: Sangawa fault, HA: Hatano fault, IS: Ishizuchi fault, OK: Okamura fault, KA: Kawakami fault, SI: Shigenobu fault, IY: Iyo fault, KO: Kominato fault, HO: Hongun fault. 1: Danzeki-Ooshiro site, 2 and 3: Kawabata B site and Kawabata B trial site, 4: Kawabata A site, 5: Kumatanitera-touanan site, 6: Kamigirai site, 7: Ikenoura site, 8: Ueno site, 9: Hirayama site, 10 and 11: Nakanoshou and kamiishitoko sites, 12: Kaminoda site, 13: Ichigi site, 14~17: Touyohendensho C, F, G and SK-2 sites, 18: Hongou site, 19~21: Kishinosita, Kishinosita-nishi and Kishinosita-higashi sites, 22: Iioka V site, 23~25: Iioka I, II and III sites, 26 and 27: Himi 1 and 2 sites, 28: Takai-higashi site, 29: Takai site, 30: Takai-nishi site, 31: Ichiba B site, 32: Hongun site.

準と地層の¹⁴C年代値を再検討した。本論文ではそのうち、とくにイベント層準の認定について、具体的な事例を示し、その留意点を述べる。

2. トレンチ壁面に現れる地質現象

トレンチ壁面に現れる地質現象として、(1)断層、(2)撓曲および傾斜不整合、(3)液化化現象、(4)地割れ、および(5)地層の流動化などがある。図-2に四国MTL活断層系のトレンチ調査で観察された地質現象の模式図を示す。

なお、イベント層準の認定については、Weldon et al (1996)¹⁵⁾による詳しい解説があるので、これを参照されたい。トレンチ調査では、地質現象を観察し、イベントが発生した層準を認定し、地層の¹⁴C年代値からイベントの発生時期を推定する。地質現象は単独で発生することもあるが、多くのトレンチ地点では、重複して現れる。

(1) 断層

トレンチ調査は断層を確認し、これからイベントの発

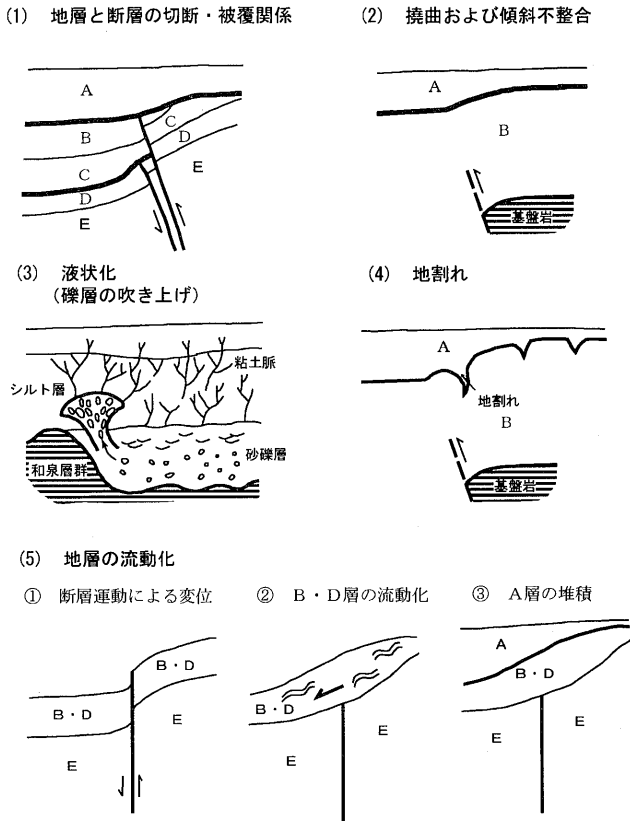


図-2 四国MTL活断層系におけるトレンチ壁面に現れる地質現象の模式図。網をかけた地層はイベントを覆う地層であり、太い実線がイベント層準。

Fig.2. Schematic diagrams illustrating geological phenomena observed on the walls of trenches of the Median Tectonic Line active fault system. Gray layers cover event horizons. Thick lines are event horizons.

生時期を検討することを目的としているので、断層によりイベント層準を認定することは最も一般的な調査である。その基本的な考え方は、地層と断層との切断・被覆関係である。古地震において、地震断層として当時の地表面（ないし海底面）に変位や変形が及んだ断層でイベント層準を検討する必要がある。このような断層は、すべての地層を切断しているか、あるいはその上端が不整合関係で上位層に覆われているはずである（図-2の(1)）。上方に向かって徐々に消滅するような断層ではイベント層準を検討できない。

これまで著者が観察したトレンチでは、トレンチ底面や犬走りの水平面では、MTL活断層系はいずれも明瞭な右横ずれの引きずり変形を示す。しかし、トレンチ壁面のように鉛直方向の断面では、局所的な圧縮ないし引張により、様々な形態を示す。図-3に示すように、右横ずれ断層において、左雁行配列のステップや反時計回りの屈曲は圧縮場を、その逆は引張場を形成する（e.g. Sylvester, 1988）¹⁶⁾。圧縮場は逆断層状の変位・変形を、引張場はV字状の落ち込み構造をなすことが多い。また、フラワー構造など横ずれ断層特有の構造を示すこともあ

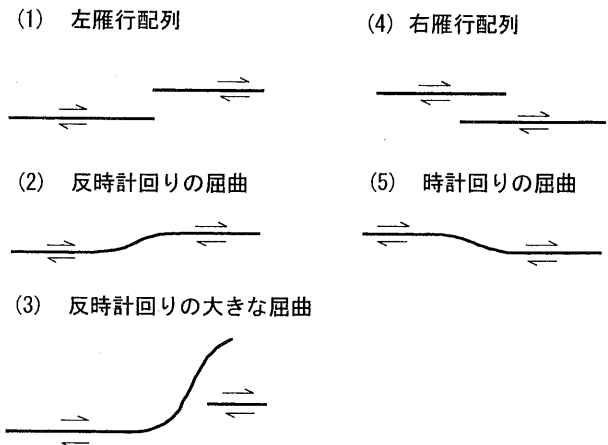


図-3 断層の平面形態と応力場。Sylvester (1988)¹⁶⁾を基に作成。(1)~(3)は圧縮場、(4)、(5)は引張場を形成。

Fig.3. Schematic diagrams illustrating various types of strike-slip fault on cross section (e.g. Sylvester, 1988)¹⁶⁾. (1),(2), and (3) : compressive domain. (4) and (5) : extentional domain.

る。これらの断層形態を理解して、イベント層準を認定する必要がある。

(2) 撓曲および傾斜不整合

図-2の(2)のように、平野部において、完新統～上部更新統の軟質な地層が厚く堆積している場合、断層は地表に達しないで、地表面あるいは海底面に撓曲崖が形成される。これを新期の地層が水平に覆うことにより、傾斜不整合が形成される。撓曲部のトレンチ調査では、傾斜不整合より、イベント層準を検討する。断層が地表に達している場合でも、断層運動に伴う地層の引きずり変形により、傾斜不整合が形成されることもある。傾斜不整合は、撓曲の高度差（撓曲を挟んだ隆起側と沈降側における同一層準の高度差）が小さい場合、イベント層準の認定は難しくなる。

(3) 液状化現象

液状化現象により、断層活動が推定されることがある。図-2の(3)は、シルト層と和泉層群基盤岩に挟まれた砂礫層が液状化し、礫層がシルト層に吹き上げ、その上端から粘土脈が形成されている事例の模式図である。液状化は対象とする断層だけでなく、震源が遠方の海域の地震でも発生するため、震源の特定が難しい。そのため、液状化現象から認定したイベントは確実性が低いとされる。しかし、礫層の吹き上げのように、大規模な液状化現象は、近傍の活断層の活動により発生したと推定される。

(4) 地割れ

図-2の(4)のように、撓曲や液状化現象に伴い、イベントが発生した当時の地表面や海底面に地割れが発生している場合がある。地割れは撓曲の上盤側に形成される。

地割れはイベント層準を認定する重要な情報になる。

(5) 地層の流動化

図-2の(5)のように、断層活動に伴い、断層近傍の地層が液状化し、流動化している事例がある。この場合、地層の流動化そのものがイベント発生 の証拠となる。しかし、地層の流動化により断層は消滅ないし不鮮明になる。流動化した地層を、断層を覆う地層とみなすことにより、イベント層準の認定を誤るケースがある。流動化は、明らかに地層の移動を伴うものがあるが、堆積構造が乱れているだけのものもある。断層近傍でよくみられる現象であり、地層の性状を詳細に観察したうえで、イベント層準を認定する必要がある。

3. イベント層準認定の事例

著者がトレンチ調査に従事した四国東部におけるトレンチ調査結果(徳島県, 2000)¹⁷⁾を中心として、イベント層準を認定した事例を述べる。トレンチ壁面の地層の詳しい記載やその¹⁴C年代値については、森野ほか(2001¹⁸⁾, 2002b¹⁹⁾)を参照されたい。

3.1 撓曲によるイベント認定

—鳴門南断層・段関・大代トレンチ—

鳴門南断層の段関・大代トレンチ(図-1)では、撓曲および傾斜不整合により、イベント層準を認定した。また、液状化現象や地割れもみられ、これらを含めてイベント層準を検討した(森野ほか, 2001)¹⁸⁾。

段関・大代トレンチは徳島平野の沖積低地に位置している。空中写真判読によると、徳島平野の沖積低地を東西方向にのびる微高地列が認められた(後藤, 1998²⁰⁾; 高田ほか, 1998²¹⁾)。微高地の南縁は高さ50cm~1mの低崖をなしており、北側は徐々に高度を下げ、沖積低地と一致している。このような地形から、微高地の南縁を鳴門南断層が通ると考えられた。

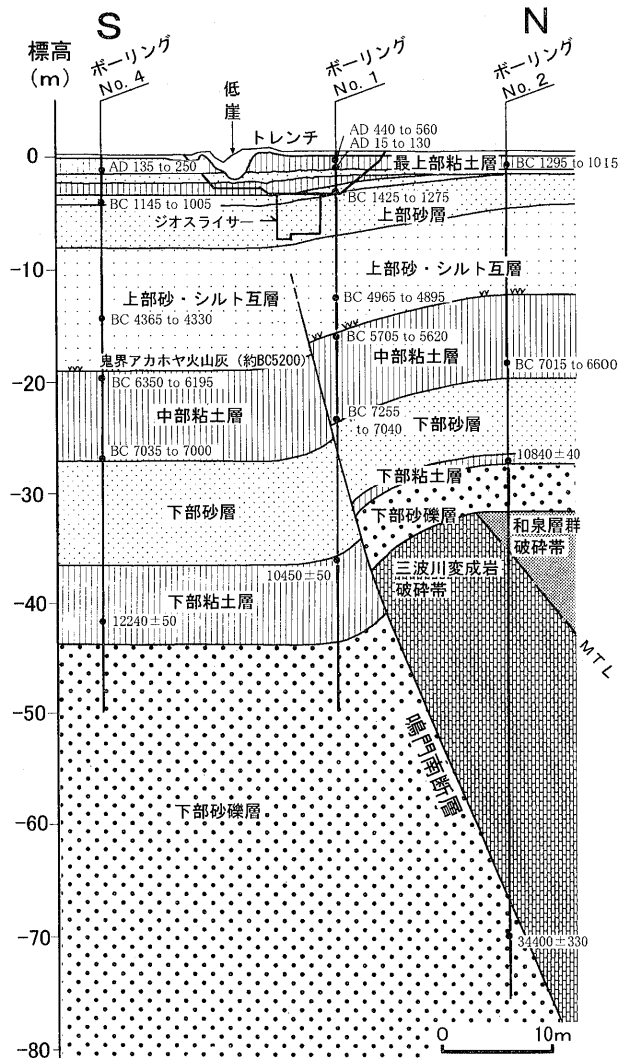


図-4 段関・大代地区の地質断面図

Fig.4. Geological profile across the Naruto-minami fault at Danzeki-Ooshiro.

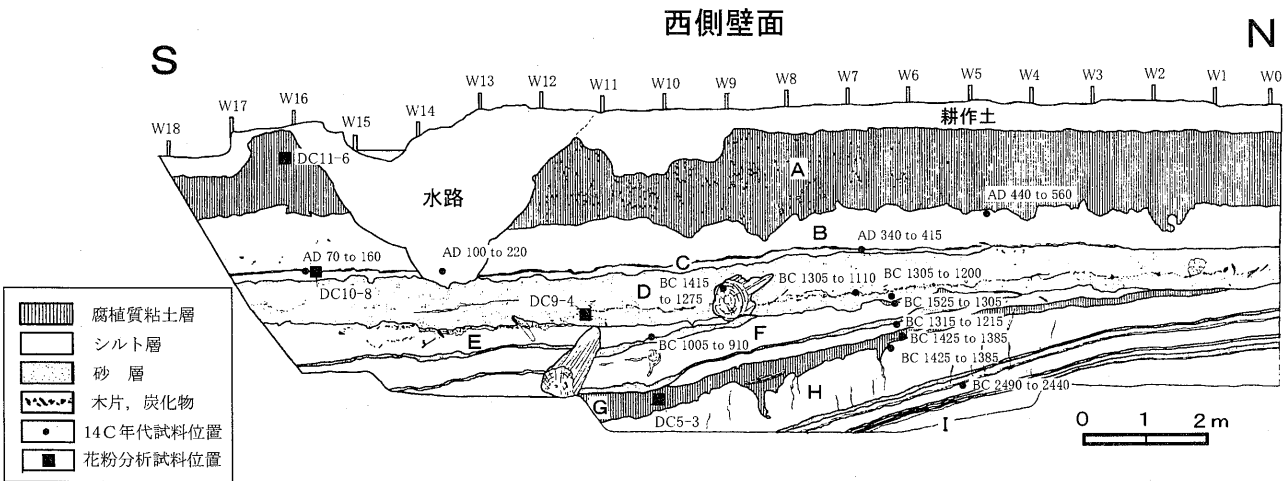


図-5 段関・大代トレンチ壁面のスケッチ

Fig.5. Log of the west wall of trench at Danzeki-Ooshiro.



写真-1 段関・大代トレンチ底より実施したジオスライサー調査で採取した試料。I層下方の中粒砂ないし粗粒砂が液状化の発生源である。

Photo.1. Photograph showing geo-slicer sample from the bottom of trench at Danzeki・Ooshiro. Middle or coarse sand layer underlying layer I is a source of liquefaction.

図-4に段関・大代地区の地質断面図を示す。ボーリングNo.2では、深度32.2mまで完新統～上部更新統であり、その下位は和泉層群と三波川変成岩類の破砕帯からなり、深度65.7mで再び上部更新統の下部砂礫層に抜けている。三波川変成岩類と下部砂礫層の境が鳴門南断層である。ボーリング調査により推定された断層の延長線上でトレンチを掘削した。

図-5に段関・大代トレンチ壁面のスケッチを示す。トレンチには断層は分布していなかったが、撓曲がみられた。トレンチ壁面の地層はA層からI層に区分される。A層は盛り土であり、B層以下の層準は粘土層、シルト層、シルト質細砂層などの細粒分に富んだ地層であり、後背湿地の堆積物と考えられる。トレンチ壁面の観察より、次のイベントを推定した。

イベント1：C層は厚さ数cmの薄い粘土層であるが、南側のNo.4ボーリング(図-4)にも分布しており、連続性のよい粘土層である。本層は吉野川の後背湿地の堆積物であり、ほぼ水平に堆積したと考えられるが、W8～W10付近で撓みがみられる。撓みの高低差は40～50cm



写真-2 段関・大代トレンチ壁面に現れたH層上面の地割れ跡。地割れはG層の粘土層で充填されている。

Photo.2. Photograph showing a fissure observed on upper surface of the layer H which are filled up with clay from the overlying layer G.

と小さいが、数mの範囲内で変形しており、圧密沈下ではなく、断層運動による地層の変形と考えられる。地層の¹⁴C年代値は、B層およびC層が70～440calAD(calはcalibrated ageの略で、較正年代であることを示す。ADおよびBCは暦年)、D層は1,415～1,110calBCであり、B・C両層とD層には約1,000年の年代のギャップがある。B・C両層とD層は傾斜不整合の関係にある。D層に形成された撓み(イベント2)を水平に覆ったC層に撓みがみられることから、C層堆積後にイベントが推定される。C層の撓みは、微高地を形成した断層運動にかかわるイベントと推測され、その変形は現在の地形面に及んでいる可能性が高い。

なお、C層の撓みの位置は、微高地南縁の低崖より4～5m北側に離れている。これは断層運動で撓曲崖が形成された後に、微高地の土地利用のために、撓曲崖に盛り土がなされ、その南側に人為的な崖が造られたものと考えられる。徳島県内のその他のトレンチでも、断層位置と低断層崖は数m離れており、両者は必ずしも一致していない。土地利用のため、低断層崖は人為的に削られ

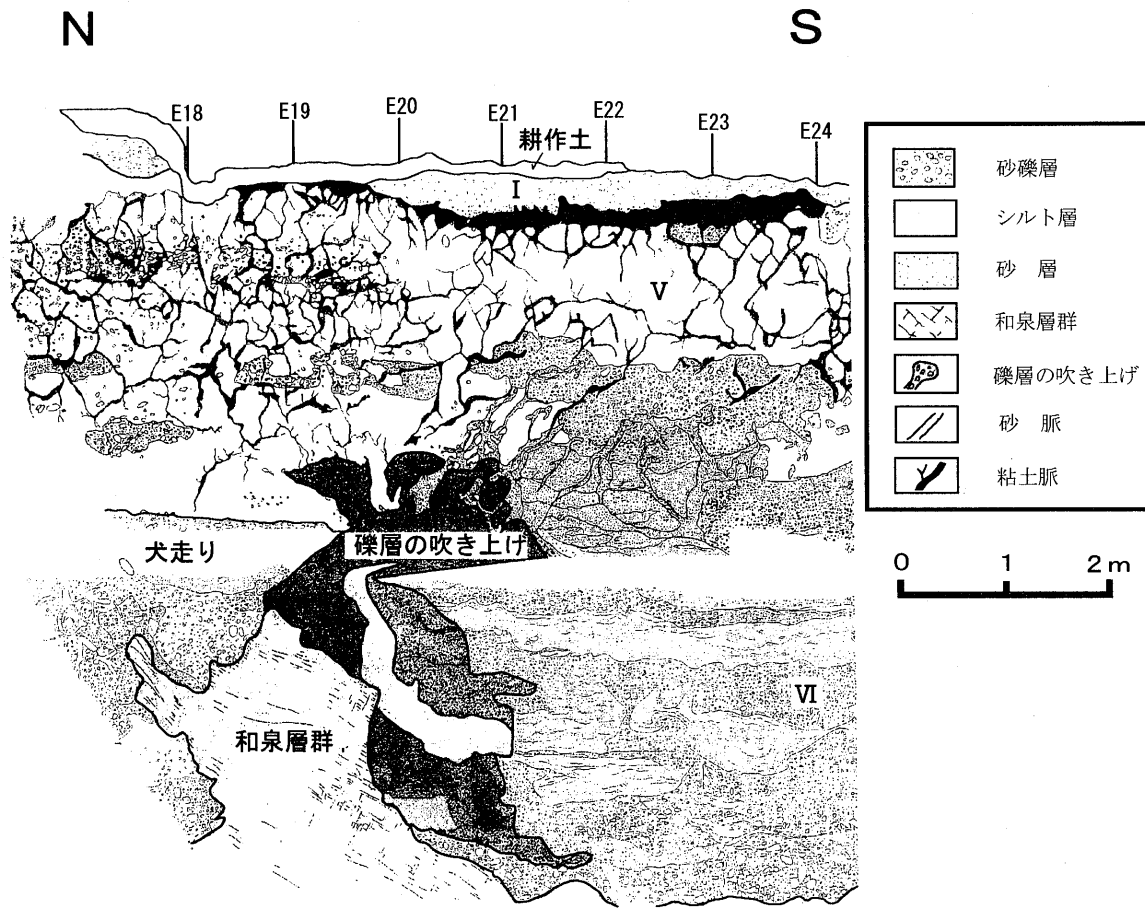


図-6 川端Aトレンチ東側壁面のスケッチ

Fig.6. Log of the east wall of trench at Kawabata A.

るか、あるいは盛り土がなされているためと考えられる。

イベント2：C層の撓みはW8～W10付近であるのに対して、下位のD層ではW3～W11の広い範囲に撓んでいる。また、D層下面の撓みの高低差は70～80cmであり、C層の約2倍になっている。前述のように、B・C両層とD層は小規模な傾斜不整合の関係にあり、D層堆積後、B・C層堆積前にイベントが推定される。

イベント3：D層は下位のE、F、G層より地層の傾斜が緩く、その構造を切って覆っている。D層とE、F、G層は傾斜不整合の関係にある。E層堆積後、D層堆積前にイベントが推定される。

イベント4：H層およびI層はW5～W10付近で約10°傾斜している。W5から北側でも緩やかに傾斜しており、撓曲変形は広い範囲に及んでいる。その上位のF層とG層もW5～W10付近で撓曲変形しているが、下位のH層およびI層より傾斜が緩くなっており、G層と下位のH層およびI層とは傾斜不整合の関係にある。また、H層およびI層には液状化による砂脈が発達しており、砂脈はG層の下底面に達している。トレンチ底より実施したジオスライサー調査（地層抜き取り装置；図-4）によると、トレンチ下方の上部砂層中の中粒砂ないし粗粒砂が液状化の発生源であると確認された（写真-1）。また、H層の上面には地割れがみられ、これをG層が充填している（写真-2）。これらのことから、G層堆積中

にイベントが推定される。

上述のように、段関・大代トレンチでは、傾斜不整合から4回のイベントを推定した。このような構造は河川下流域ないしデルタ堆積物の堆積構造であるという見方もある。しかし、トレンチ壁面の地層は粘土層やシルト層の細粒分に富んだ地層より構成され、砂層からなる河川下流域ないしデルタ堆積物の堆積構造ではない。また、下位層準ほど地層が急傾斜で、撓みの高低差が大きく、上方に向かって撓みの高低差が小さくなり、地層の傾斜が緩くなるのは、ドレイプ褶曲（原，1999）²³⁾と同じ構造である。このような地質構造では、傾斜不整合を確認できないと、イベントを認定できない。本トレンチでは、それぞれのイベントには傾斜不整合が認められる。傾斜不整合は、イベント発生当時の地形面ないし海底面に撓曲崖が形成されたことを示している。

3.2 液状化現象によるイベント認定

—板野断層・川端Aおよび川端Bトレンチ—

板野断層（図-1）は丘陵地と平野部の地形境界付近をとおっている。また、讃岐山脈より流下する河川の出口では、沖積扇状地を横切っている。板野町大寺の沖積扇状地には、明瞭な低断層崖が発達しているが、扇状地堆積物は砂礫層などの粗粒な地層より構成され、断層や地層の変形を把握しにくいと考えられた。川端の小規模



写真-3 川端Aトレンチ東側壁面の礫層の液状化。

Photo.3. Photograph showing liquefaction of gravels on the east wall at Kawabata A trench.

な谷の出口では、細粒な堆積物からなると推測され、川端Aおよび川端Bトレンチ調査を行った（森野ほか，2001）¹⁸⁾。

最初に川端Aトレンチを掘削したが、断層は確認できなかった。その後、川端Aトレンチより約300m東側で、道路建設を目的としたボーリング調査が行われ、板野断層の位置が推定された。さらに、ボーリング調査を追加し、断層位置を特定したうえで、川端Bトレンチを掘削した。

(1) 川端Aトレンチ

本トレンチでは、大規模な液状化現象がみられた。図-6に川端Aトレンチ東側壁面のスケッチを示す。

トレンチ壁面の地層は扇状地堆積物であり、I層からVII層に区分される。東側壁面ではI層がV層を直接覆っている。V層のシルト層と和泉層群基盤に挟まれた砂および砂礫層（VI層）が液状化し、礫層が上位のシルト層に吹き上げている。液状化はVI層の中部から下部で発生しており、壁面中段の犬走りでは、礫層がVI層上部の地層を貫いているのが観察された（写真-3）。さらにその上端から粘土脈が派生しており、粘土脈はI層に達している。

粘土脈は次の理由により、地表から浸透したのではなく、下方から上方に貫入したと考えられる。粘土脈は下方から上方に枝分かれするような形態を示す。さらにトレンチ下部では砂分が多く、上部は粘土からなるという

上方細粒化を示す。また、粘土脈内部は周辺が砂で中央が粘土からなるという分帯がみられる（写真-4，5）。これらのことから粘土脈は、地震時に間隙水圧が上昇したことにより、上方に貫入した粘土細脈であり、液状化現象の一種と考えられる。粘土脈はI層に達しており、I層堆積後に液状化を発生させたイベントが推定される。

前章で述べたように、液状化現象は震源を特定できないという問題がある。しかし、本トレンチでは礫層が吹き上げており、その上端より派生する粘土脈は、トレンチ壁面全体に密に発達している。このような液状化現象は、震源が遠方の海域の地震によるとは考えにくい。板野断層の活動によるものと考えられる。

(2) 川端Bトレンチ（西側壁面のイベント1）

図-7に川端Bトレンチのスケッチを示す。トレンチ壁面の地層は1～5層に区分され、4層は後背湿地の堆積物であり、4a～4e層に細分される。3層は西側壁面W7付近の形状から、人工的な水路の堆積物と推測される。5層はシルト層ないしシルト質礫層であり、扇状地堆積物である。

西側壁面では、断層は高角度で北側に傾斜しており、北側隆起、南側沈降の逆断層状の変位・変形を示す。西側壁面スケッチのように、断層は明瞭であるが、地層と断層との切断・関係は必ずしも明瞭でなく、イベント層準を読み取りにくかった。そこで犬走りを除去し、平滑な壁面にしたところ、図-8に示す断面が現れた（写真-

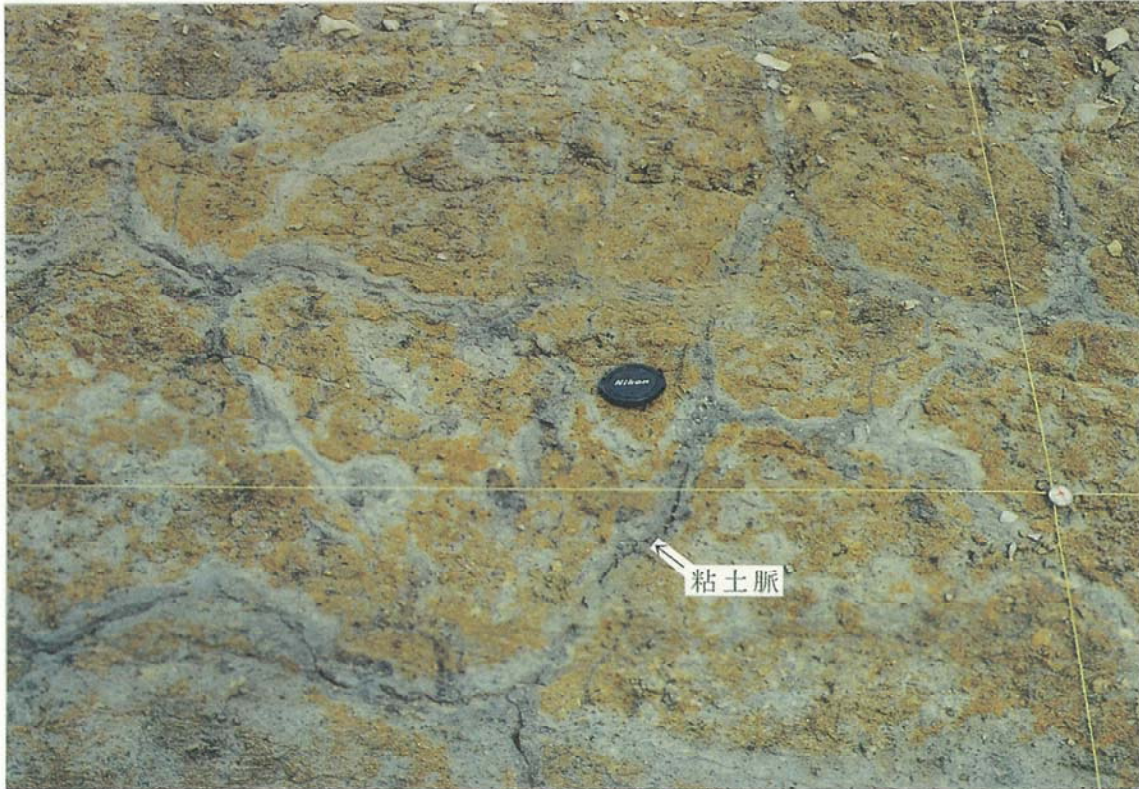


写真-4 川端Aトレンチ東側壁面の粘土脈。周辺が砂で中央は粘土からなる。

Photo.4. Photograph showing clay veins occurred with liquefaction on the east wall at Kawabata A trench.

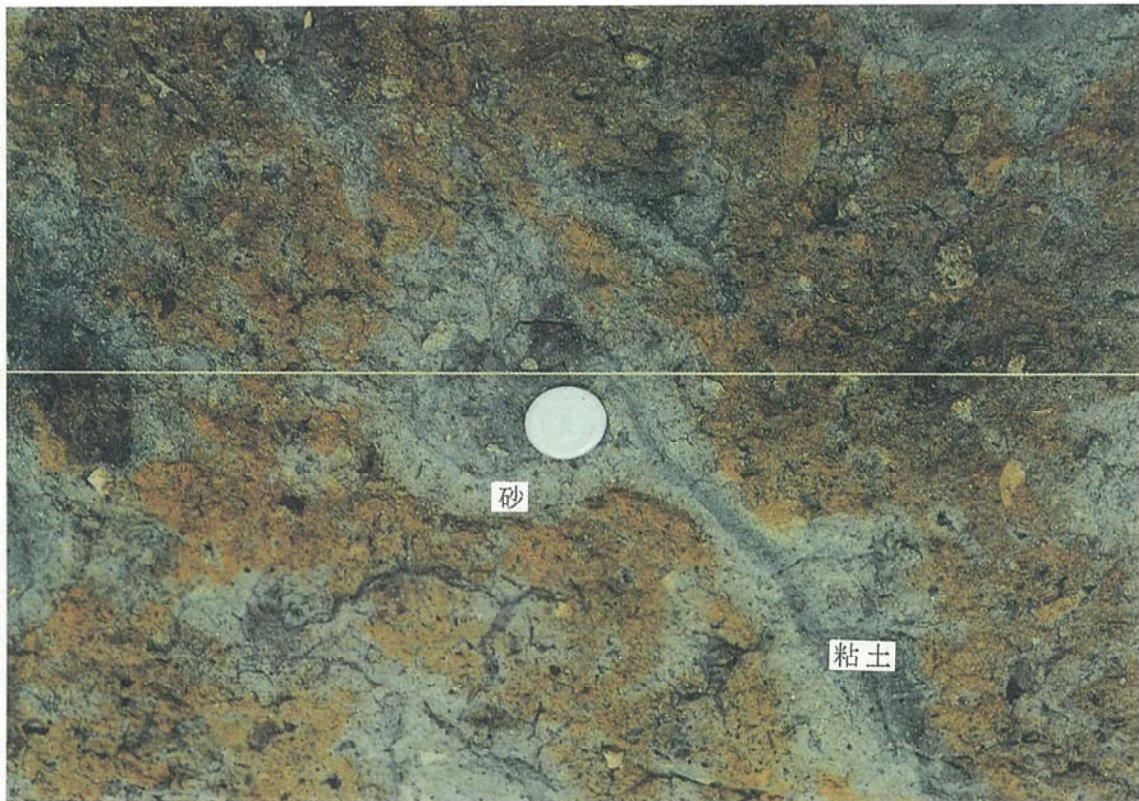


写真-5 粘土脈の近接写真。

Photo.5. Close-up photograph of clay veins.

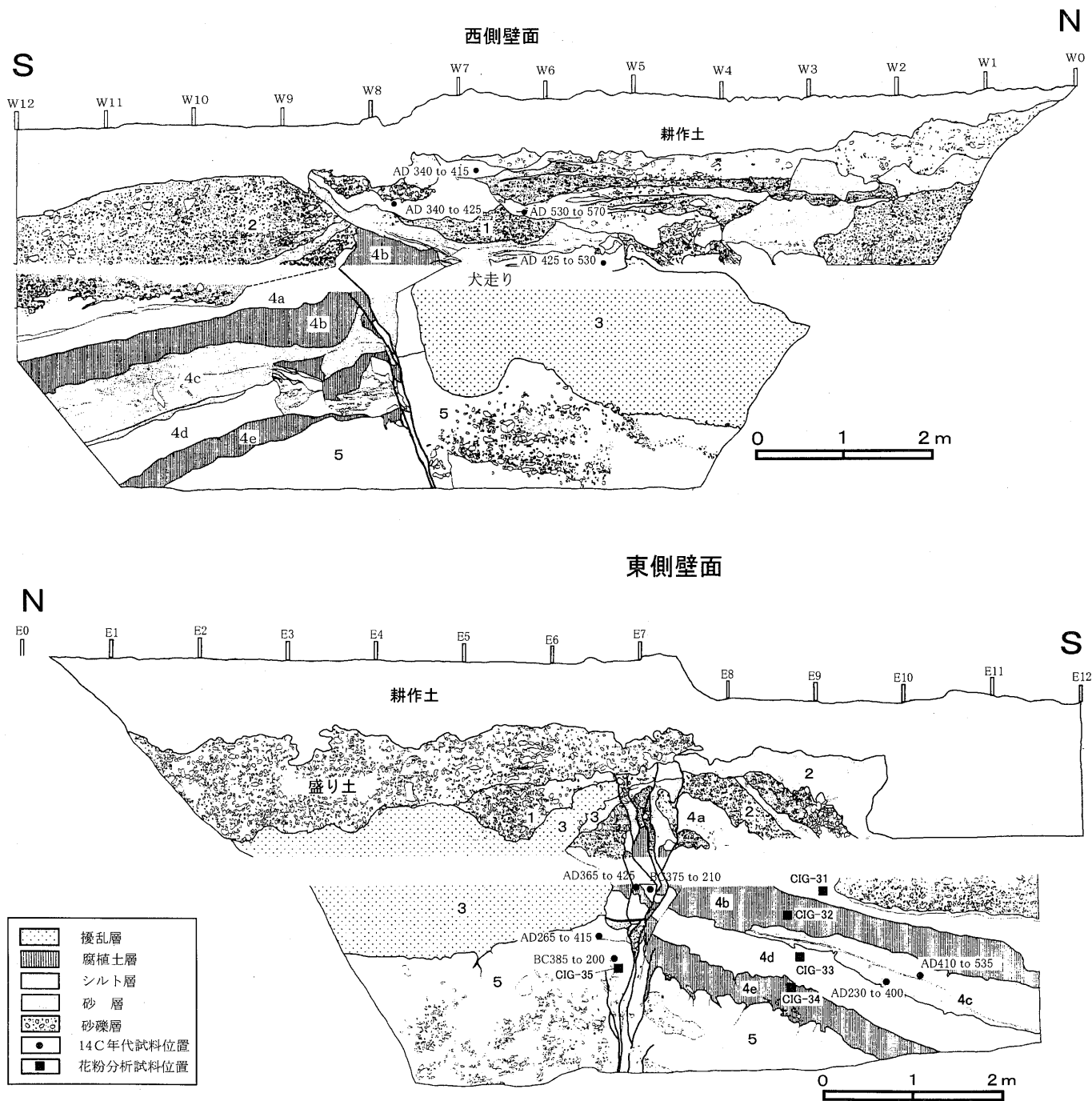


図-7 川端Bトレンチ壁面のスケッチ
Fig.7. Log of the west and east walls of trench at Kawabata B.

6)。

イベント1の層準は次のように推定した。

1層と2層の境界は断層関係ではないが、1層が2層に乗り上げた形状を示している。境界付近の2層中の礫は回転しており、逆断層状の引きずり変形を示す。また、4b層の腐植質粘土層は1層と2層の境界に注入している(図-8の上部)。一方、3層は特異な層相を示す地層である。図-9に3層の詳細スケッチを示す。3層の基質部は砂礫層であり、4層起源と考えられる白色、灰色、淡緑色、黒色などの雑多な色のシルトや腐植土がブ

ロック状に取り込まれている。砂礫層は堆積構造が乱れており、礫の長軸は様々な方向を向き、乱雑な配置になっている。このような堆積構造の成因は砂礫層の液状化による可能性が強いと推測している。また、3層直上部の1層の最下部は、砂層が微褶曲し、木片や炭化物の長軸はほぼ直立している。W4の犬走り付近では、砂礫層と砂層がほぼ鉛直の境界で接している(森野ほか, 2001)¹⁸⁾。1層最下部の堆積構造の乱れは、3層の液状化によるものと考えられる。これらのことから、3層の液状化により、1層が流動化し、2層に乗り上げた可能性が強い。

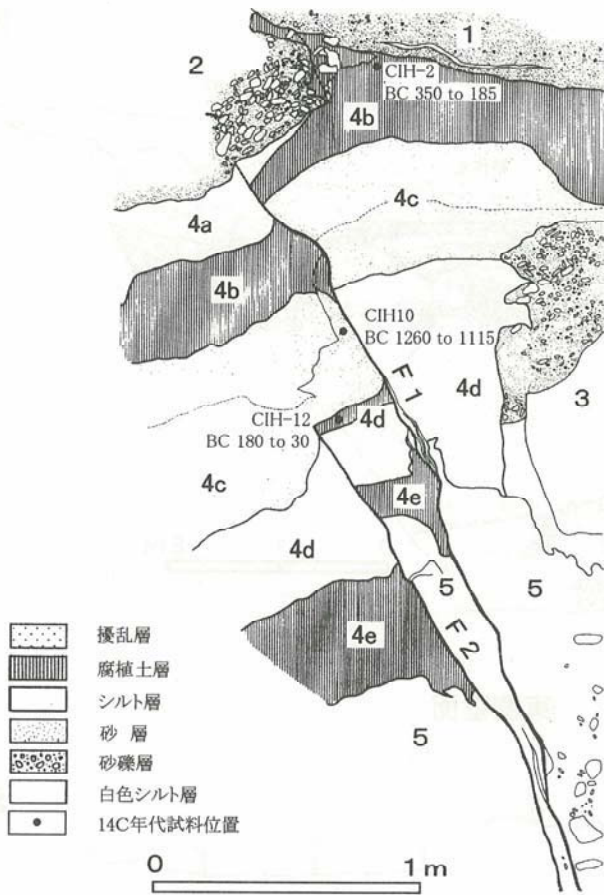


図-8 川端Bトレンチ西側壁面の犬走り除去後のスケッチ
 Fig.8. Detailed log of the west wall of trench at Kawabata B after step was removed.

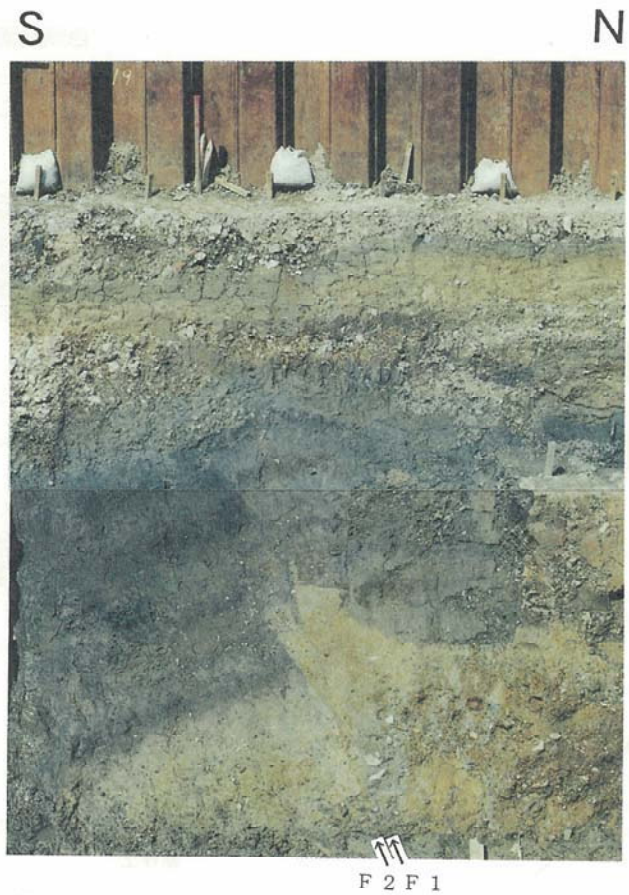


写真-6 川端Bトレンチ西側壁面
 Photo.6. Photograph showing log of the west wall of trench at Kawabata B.

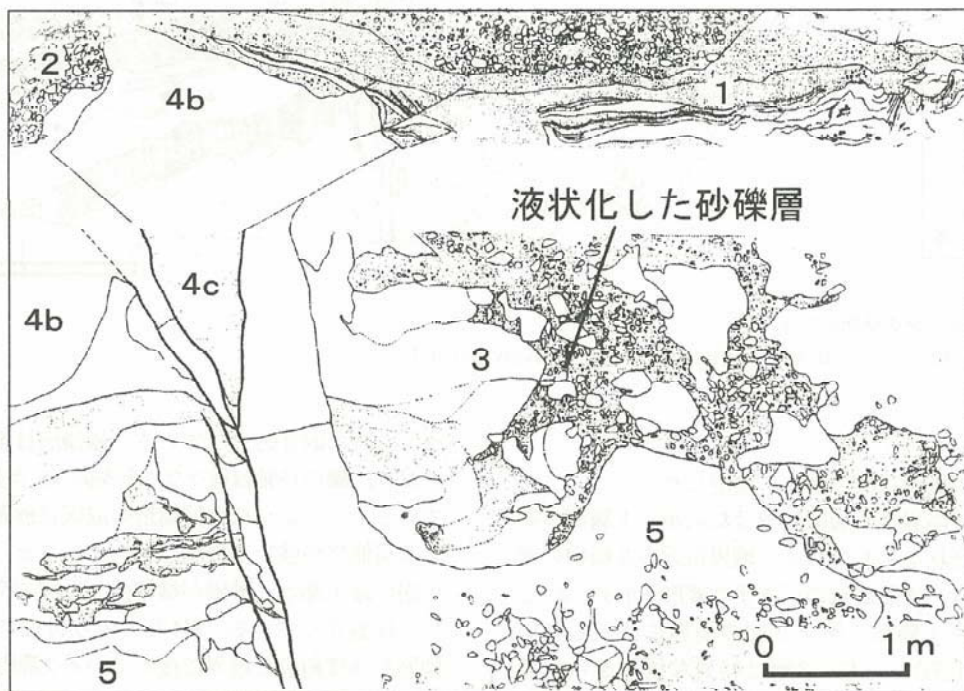


図-9 川端Bトレンチ西側壁面の3層の性状
 Fig.3. Feature of layer 3 observed on the west wall at Kawabata B.

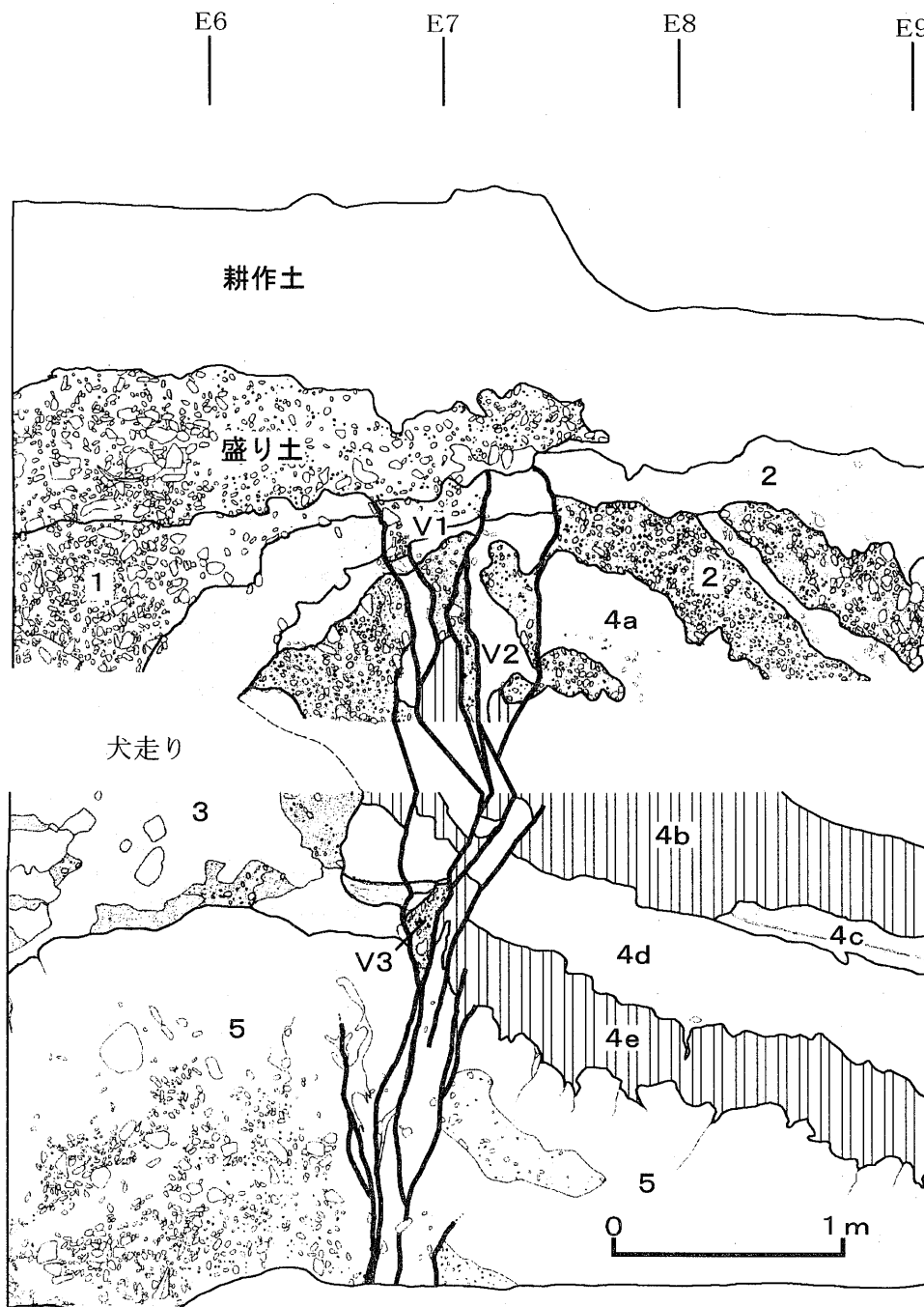


図-10 川端Bトレンチの断層部の詳細スケッチ
 Fig.10. Detailed fault zone log of the east wall at Kawabata B.

したがって、1層堆積後にイベントが推定される。このように、液状化現象や地層の流動化を把握するためには、断層だけでなく、地層の性状について、詳細な観察を行う必要がある。

3.3 断層によるイベント認定
 -板野断層川端Bトレンチ-

川端Bトレンチの西側壁面で、イベント2と3は次のように認定した。

図-8のように、犬走り除去後の壁面では、F1およびF2の2条の断層が認められた。F1断層は4a層ま

での地層を切断し、2層に覆われている。2層はF1断層に切断された4a層を削り込んで覆っており、2層と4a層は不整合の関係を示す。F1断層は、上方に向かって徐々に消滅したのではなく、不整合関係で2層に覆われている。4a層堆積後にF1断層の活動があり、その後、2層がこれらを覆ったことを示している。したがって、4a層堆積後、2層堆積前にイベントが推定される。

また、F2断層は4d層までの地層を切断し、4c層に覆われている。上記の2層と4a層の関係と同様に、4c層は4d層を不整合関係で覆っている。4d層堆積後、4c層堆積前にイベントが推定される。



図-11 池ノ浦トレンチ壁面のスケッチ

Fig.11. Log of all walls of the trench at Ikenoura.

東側壁面では、V字状の落ち込み構造がみられた。図-10に東側壁面断層部の詳細スケッチを示す。V字状の落ち込み構造は、本トレンチのほかに、父尾断層の上喜来トレンチ、池田断層の上石床トレンチ、畑野断層の上野田トレンチおよび岡村断層の飯岡Iトレンチ（図-1）など多くのトレンチ地点で観察される。MTL活断層系で、引張場における一般的な断層形態といえる。

V字状落ち込み構造でイベント層準を解明するためには、V字を構成する断層と地層との切断・被覆関係を明らかにする必要がある。一般的にV字状落ち込み構造は、イベント1（最新イベント）の層準は明瞭であることが多いが、1つ前およびそれ以前のイベントでは、地層と断層との切断・被覆関係が複雑になり、イベント層準を判読しにくい。

トレンチ壁面ではV1～V3の落ち込み構造が認められる。そのうちV1には、1層が落ち込んでおり、1層堆積後にイベント1が推定される。しかし、V2およびV3では、イベント層準は明瞭でない。V2を構成する両側の断層は、V1の断層活動でも活動しているように見える。また、V3は薄い砂層に覆われているが、砂層の層準が明らかでない。

なお、断層より南側のE8～E11では4c層を境として、下位層よりも上位層で地層の傾斜が緩くなっている。これは断層運動に伴う地層の引きずり変形により形成された傾斜不整合であり、4d層堆積後、4c堆積前にイベント

が推定される。このように、断層の引きずり変形でも傾斜不整合が形成され、イベント層準を認定できる。

川端Bトレンチの西側と東側壁面はわずか数mしか離れていないのに、断層の形態が変化している。これは横ずれ断層の特徴の1つであり、鉛直方向の壁面の観察だけでは断層の立体的な構造を把握できない。トレンチ掘削時を含めた水平面の観察が重要である。

3.4 断層によるイベント認定

—三野断層・池ノ浦および上野トレンチ—

三野断層では、中位ないし低位段丘面に形成された溝状凹地南縁の逆向き低断層崖を横断してトレンチ調査を行った（森野ほか、2002b）¹⁹。

(1) 池ノ浦トレンチ

池ノ浦トレンチ（図-1）付近の低位1～中位段丘面上には深さ2～4m、幅20～35m、長さ250m以上の東西方向にのびる凹地が発達している（岡田、1970）。この凹地は断層運動により形成された変位地形と考えられ、現在でも2つの池がある。

図-11に池ノ浦トレンチ壁面のスケッチ、図-12に池ノ浦トレンチ西側および東側壁面の詳細スケッチを示す（写真-8）。

トレンチ壁面の地層は、北方の讃岐山脈より供給された扇状地堆積物であるが、F1断層を境として北側と南側で層相がやや異なる。そのため、北側を1～6層に、

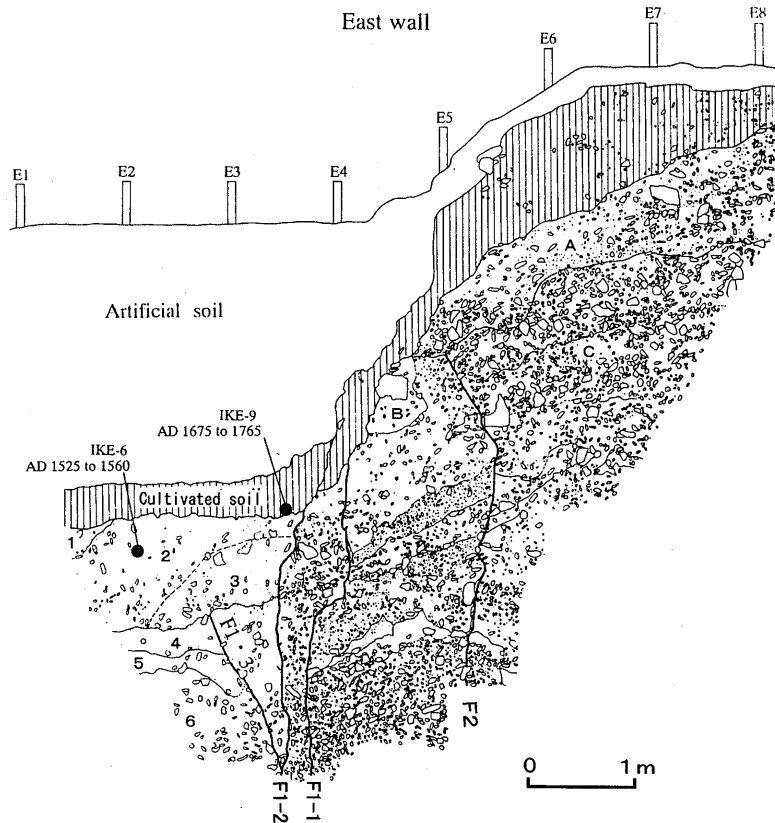
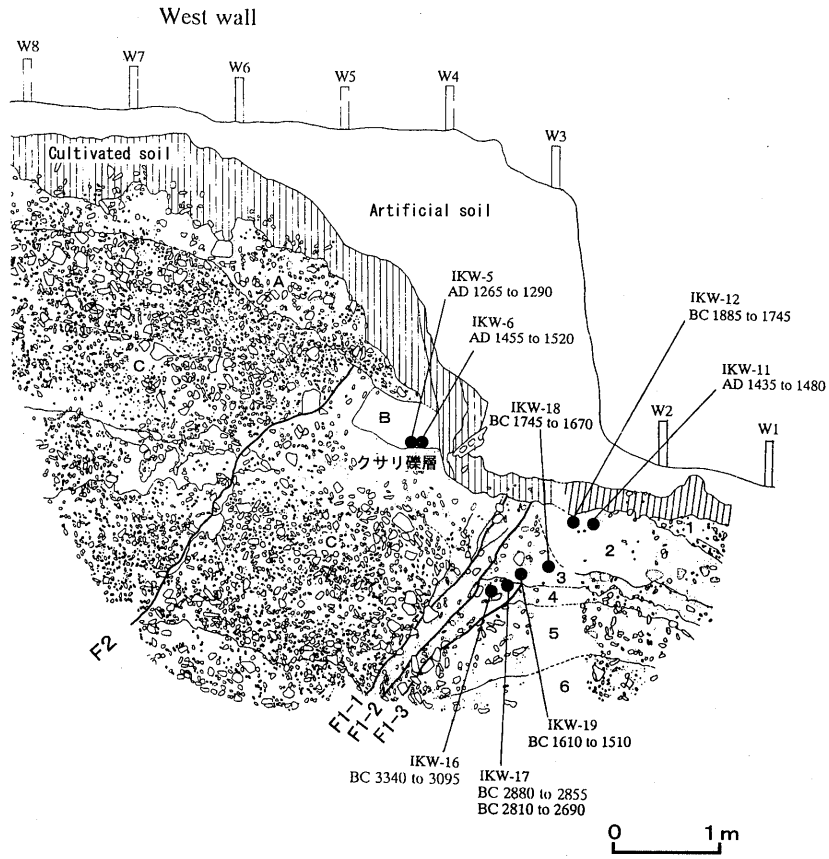


図-12 池ノ浦トレンチ西側および東側壁面の詳細スケッチ
 Fig.12. Detailed log of the west and east walls at Ikenoura.



写真-8 池ノ浦トレンチ東側壁面
Photo.8. Photograph showing log of the east wall of trench at Ikenoura.

南側をA～C層に区分した。トレンチ調査とボーリング調査の結果(図-13)を総合的に検討すると、北側の1～4層はシルト質礫層などやや細粒分に富んだ地層であり、また、地層の¹⁴C年代値も若いので、溝状凹地の堆積物と考えられる。南側のC層はやや締まった礫層であり、地層の¹⁴C年代値は $14,300 \pm 50$ yBPである(図-11の南側壁面下部)。これらのことからC層は扇状地性の低位段丘1堆積物と考えられる。北側の5層と6層は、¹⁴C年代値は得られていないが、層相からC層に対比される。南側のA層は崩積土、B層は旧表土である。

トレンチ壁面には、F1およびF2の2条の断層が発達しており、F1断層はF1-1～F1-3断層に分岐している。F1断層は低断層崖のほぼ基部に分布しており、傾斜はほぼ鉛直であり、南側隆起、北側沈降の変位を示す。西側壁面では南側に傾斜しているように見えるが、壁面と断層が斜交していることによる見かけ上の傾斜である。南北両側の地層は断層側に傾斜している。また、分岐断層は中央に収斂するフラワー構造を示す。これは横ずれ断層特有の構造である。F2断層はトレンチ中部から下

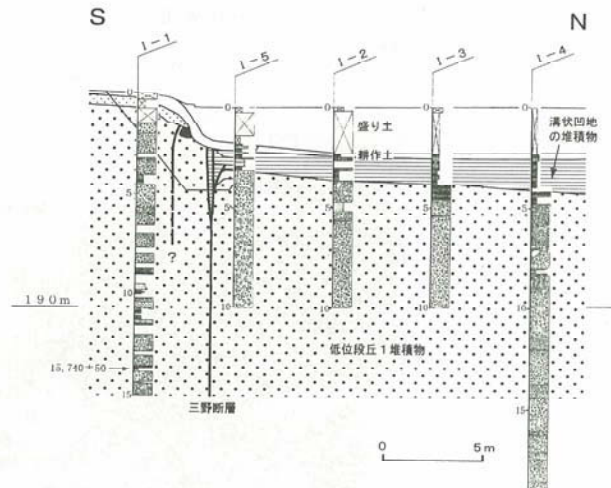


図-13 池ノ浦トレンチ付近の地質断面図
Fig.13. Geological profile near the trench site at Ikenoura.

部にかけてほぼ鉛直であるが、上部で南側に傾斜している。

地層と断層との切断・被覆関係および地層の変形より、次のイベント層準を推定した。

イベント1：F1-1およびF1-2断層は2層までの地層を切断しており、2層堆積後にイベントが推定される。F2断層はC層を逆断層状に変形させ、C層はB層を覆っている。この断層活動に伴い、斜面の上部が崩壊し、A層が断層を覆うようになったと考えられる。したがって、B層堆積後、A層堆積前にイベントが推定される。

イベント2：F1-3断層は4層を切り、3層に覆われている。3層と4層の不整合関係は明瞭であり、4層堆積後、3層堆積前にイベントが推定される。

本トレンチでは地層と断層の切断・被覆関係は明瞭であり、断層によるイベント認定の代表的なトレンチといえる。

(2) 上野トレンチ

本トレンチは池ノ浦トレンチと同様に、低位1および中位段丘面に形成された溝状凹地南縁の逆向き低断層崖を横切ってトレンチが掘削された。

図-14に上野トレンチ壁面のスケッチ、図-15に上野トレンチ西側および東側壁面の詳細スケッチを示す。トレンチ壁面の地層は、上部層(1～6層)と下部層(I～VII層およびA～H層)に大きく区分される。両者は不整合の関係にある。上部層は礫を含むやや粗粒な堆積物であり、旧耕作土および土石流堆積物と考えられる。下部層は、腐植質粘土層、粘土層、シルト層、砂層、砂礫層などから構成され、細粒分に富んだ地層からなり、池ないし湖沼の堆積物と推測される。トレンチにはF1～F5断層が分布しているが、F3およびF4断層を境として(東側壁面ではF1断層に切られる)、その北側と南側で地質構造が異なる。北側の下部層は北へ急傾斜しており、南側の下部層はほぼ水平な構造をなしている。南北の地層の対比が難しいので、北側をI～VII層、南側

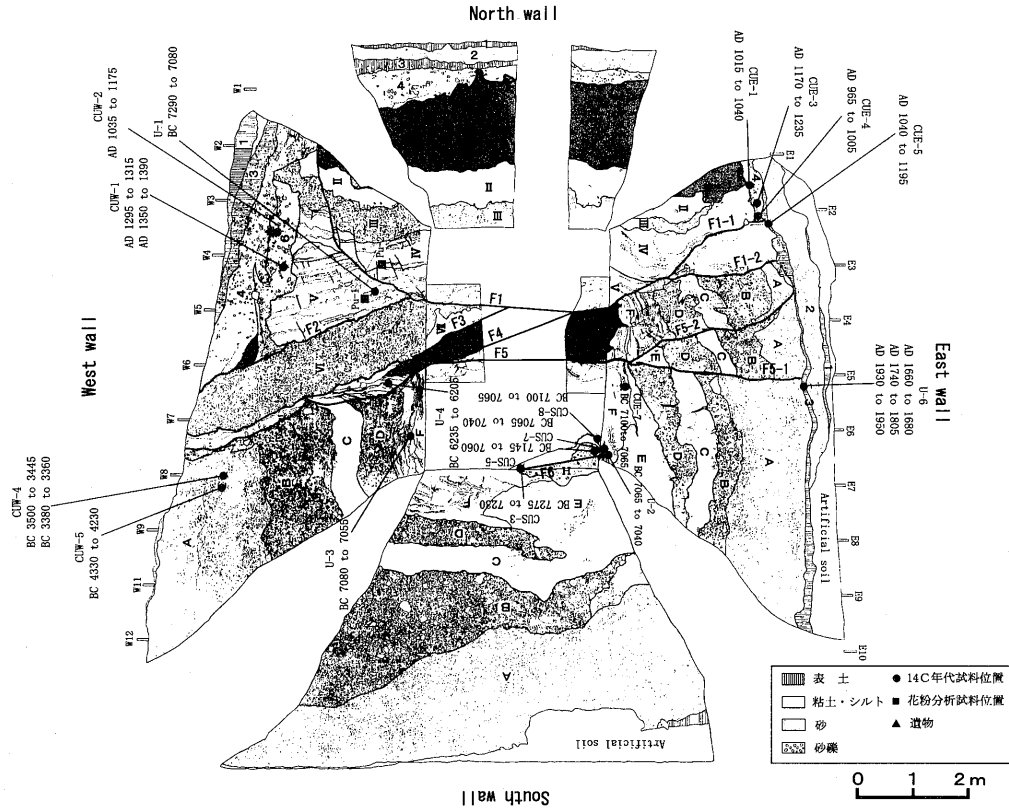


図-14 上野トレンチ壁面のスケッチ
Fig.14. Log of all walls of the trench at Ueno.

をA～H層に区分した。なお、北側壁面のI層は砂粒の90%以上が火山ガラスからなる。火山ガラスの形態はバブルウォール型で、その屈折率は1.507～1.511（中央値1.509）である。その特徴から、I層は鬼界アカホヤ火山灰（K-Ah、約BC5,200年）である。

F1～F5断層はトレンチ底面では右横ずれの引きずり変形を示す(岡田ほか, 2000)²³⁾が、鉛直方向では複雑な変位・変形を示す。F1断層は南側隆起、北側沈降の逆断層状の断層である。北側に急傾斜した下部層を切断し、さらに東側壁面では上部層の4層までを切断し、3層に覆われる。F2断層は地層境界と一致し、南側隆起・北側沈降の正断層状の断層である。F3およびF4断層は北側隆起、南側沈降の逆断層状の変位・変形を示す。F5断層は北側隆起、南側沈降で横ずれ断層としての特徴を示す。

これらの断層の新旧関係は次のように解釈した。F1断層はF3およびF4断層を切断しており、トレンチで最も新しい時期（イベント1）に活動した断層である。F2断層は、F1断層に切断されているように見えるが、F1断層の活動に伴い、地層境界に沿って変位した断層と推定される。F1およびF2断層は、いずれも南側隆起、北側沈降の変位を示す断層であり、溝状凹地南縁で北向き低断層崖をなす変位地形と一致している。F3～F6断層は北側の下部層を急傾斜させた断層活動に関わる断層と考えられる。

イベント層準は次のように推定される。

イベント1：F1断層は上部層の4層を切り、3層に覆われている。3層と4層の不整合関係は明瞭であり、4層堆積後、3層堆積前にイベントが推定される。

その他のイベント：F3～F5断層は下部層のA層を切り、上部層の3層に覆われている。A層堆積後にイベントが推定される。また、鬼界アカホヤ火山灰はほぼ直立するような変形を受けており、本層降灰以降、繰り返し断層活動があったものと考えられる。しかし、本トレンチではイベント層準を限定できるデータは得られなかった。

このように、本トレンチではイベント1（最新イベント）は認定できたが、1つ前あるいはさらに1つ前のイベントは把握できなかった。トレンチ調査では、最新イベントの把握が最も重要であるが、再来間隔を検討するためには、1つ前あるいはさらに1つ前のイベントも重要である。トレンチ地点として、新しい年代の地層が連続して堆積している場所を選定することが望ましい。

4. イベント層準の認定を誤った事例

四国のMTL活断層系を対象としたトレンチ調査で、地層の流動化に関して、イベント層準の認定を誤った事例がみられた。その例として、岡村断層の岸ノ下東トレンチ（愛媛県, 1999）²⁴⁾と池田断層の平山トレンチ（愛媛県, 2000）²⁵⁾について述べる。

(1) 岡村断層・岸ノ下東トレンチ

図-16に岸ノ下東トレンチ壁面のスケッチを示す。ト

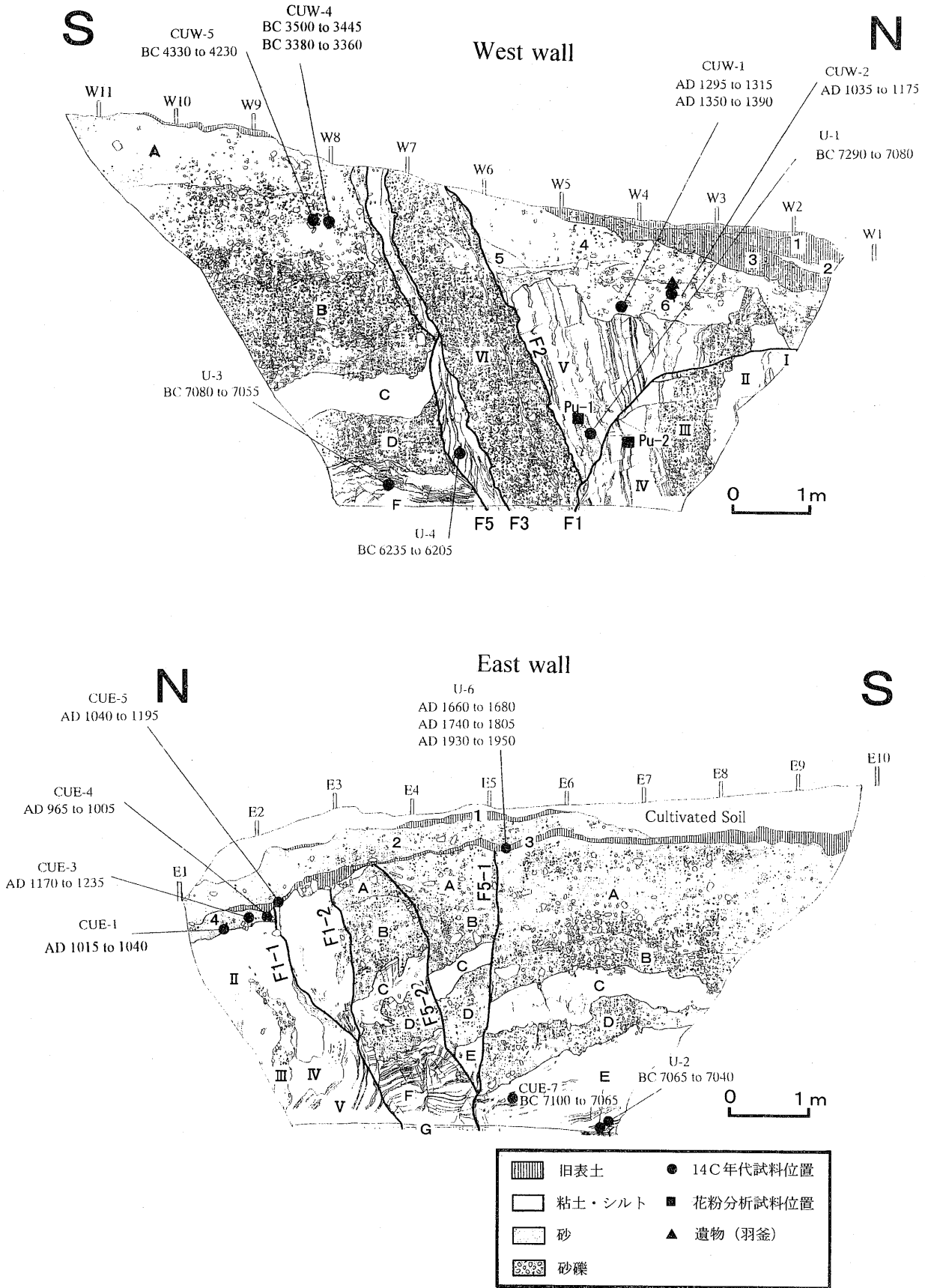


図-15 上野トレンチ西側および東側壁面の詳細スケッチ
 Fig.15. Detailed log of the west and east walls at Ueno.

レンチ壁面の地層はA～L層に区分される。西側壁面では、断層はE層までを明瞭に切断している。B層とD層は断層で切られていないが、北側へ約12°傾斜しており、これをA層が水平に覆っている。原著では、B・D両層が北側へ傾斜していること、また、堆積構造が乱れ、流動化していることから、B層堆積後、A層堆積前にイベント1を推定している。さらに、西側壁面で断層がE層までの層準を切り、D層に覆われているので、E層堆積後、D層堆積前にイベント2を推定している。

図-2(5)のように、断層が地表までのすべての地層を切断したとしても、その直後に表層の地層が液状化により流動化すると、断層は消滅する。地層の流動化そのものがイベントの証拠であり、B・D層堆積後、A層堆積前にイベント1が認められる。しかし、E層堆積後、D層堆積前のイベント2は認められない。B・D両層は断層を覆っているが、これは流動化の結果であり、堆積物が地層として断層を覆ったものではない。本トレンチの東側壁面では、断層はD層の下部まで達しており、上端は不自然に消滅している(図-16)。また、その上位のB層は流動化した形態を示している。断層活動と同時にB・D両層が流動化し、断層が消滅しないし不鮮明になったものと推定される。ここでは、流動化した地層とされているB・D層の性状が重要である。しかし、原著には詳しいスケッチや写真による記載がない。

(2) 池田断層・平山トレンチ

図-17に平山トレンチ壁面のスケッチを示す。トレンチ壁面の地層はA～H層に区分される。断層はE層までを切断し、A、B、CおよびD層に覆われている。原著によると、C・D両層の堆積構造は乱されており、流動化しているとされている。また、C・D両層には断層に類似した面構造が多数発達しており、これに沿って細礫が配列している。面構造は無秩序に発達しており、E層までを切断する断層と連続していない。面構造の成因として、液状化により地下水が上方に抜けた跡、ないし微細な剪断面と考えられるが、スケッチや写真による詳しい記載がないのでその形成機構は明らかでない。

原著では、C層とD層が流動化していることから、C層堆積後、B層堆積前にイベント1を推定している。さらに、C・D両層は断層を覆っているので、E層堆積後、D層堆積前にイベント2を推定している。しかし、前述のように、流動化した地層は断層を覆う地層とはいえないので、イベント2は認定できない。

5. イベント層準認定の留意点

3章および4章で述べたトレンチ調査におけるイベント層準の検討結果から、その留意点は次のようになる。

(1) イベント層準認定の重要性

トレンチ調査において、イベント層準の認定は最も重要な課題である。前章のように、イベント層準の認定を誤ると、古地震としてあり得ないイベントを想定することになる。トレンチ調査結果に基づいて、四国全体の断

層活動の時期を検討する場合、各トレンチで共通する時期のイベントを広い範囲に及ぶ断層活動とみなす。そのとき、誤ったイベントが想定されていると、全体を総括できなくなる。逆に、イベント層準に信頼性が高く、且つ、広い範囲に及ぶ断層活動と一致しないイベントがあれば、短い区間で活動する別の断層活動がある可能性がある。信頼性の高いイベントを前提にすることで、広い範囲に及ぶ断層活動の時期やセグメント区分を検討することができる。

(2) 横ずれ断層の特徴とトレンチ調査の留意点

MTL活断層系のような右横ずれ断層をトレンチ壁面で観察する場合、圧縮ないし引張により、断層は様々な形態を示す。圧縮場では逆断層状の変位・変形を、引張場ではV字状の落ち込み構造をなすことが多い。このように横ずれ断層の形態は、壁面の位置により大きく変化する。イベント層準を把握しにくい断面が現れた場合、壁面の位置を少し変える(削り込む)だけで、わかりやすい断面が得られることがある。トレンチ調査では、典型的な断面が得られるよう、徹底的な調査を行う必要がある。同様の理由により、予察トレンチなども重要な情報になる。同一地点で、できるだけ多くの壁面を観察し、これらを総合してイベント層準を認定する必要がある。

また、断層の連続性、分岐、地層の引きずり変形などは、トレンチ壁面の観察だけでは十分に把握できない。トレンチ底面の水平面での観察が重要である。トレンチ掘削中に水平面の観察を行い、立体的な地質構造を把握する必要がある。

(3) 地層と断層との切断・被覆関係

地層と断層との切断・被覆関係より、イベント層準を認定する場合、断層とこれを覆う地層との関係が最も重要である。両者が構造的にギャップがあり、不整合関係であることを把握する必要がある。分岐断層では上方に向かって、断層が自然に消滅することあり、このような断層ではイベント層準を検討できない。

(4) V字状落ち込み構造

V字状落ち込み構造においても、V字を構成する断層と地層との切断・被覆関係が重要になる。単に地層が落ち込んでいるだけでは、イベント層準を特定できない。

(5) 撓曲および傾斜不整合

撓曲は、地層が水平に堆積していることが前提になるので、粘土層やシルト層など細粒分に富んだ地層で検討する必要がある。イベント層準の認定では、傾斜不整合が重要である。撓みの高低差や地層の傾斜の変化はイベントの証拠とはならない。

(6) 液状化現象・地割れ

液状化現象や地割れは、遠方の地震でも発生するので、震源を特定できないという難点がある。しかし、大規模な液状化現象は近接する活断層の活動によるものと推測できる。液状化現象は、イベント層準を検討するうえで、重要な情報になる。液状化現象が現れた場合、その性状を詳細に観察する必要がある。

岸ノ下東トレンチ

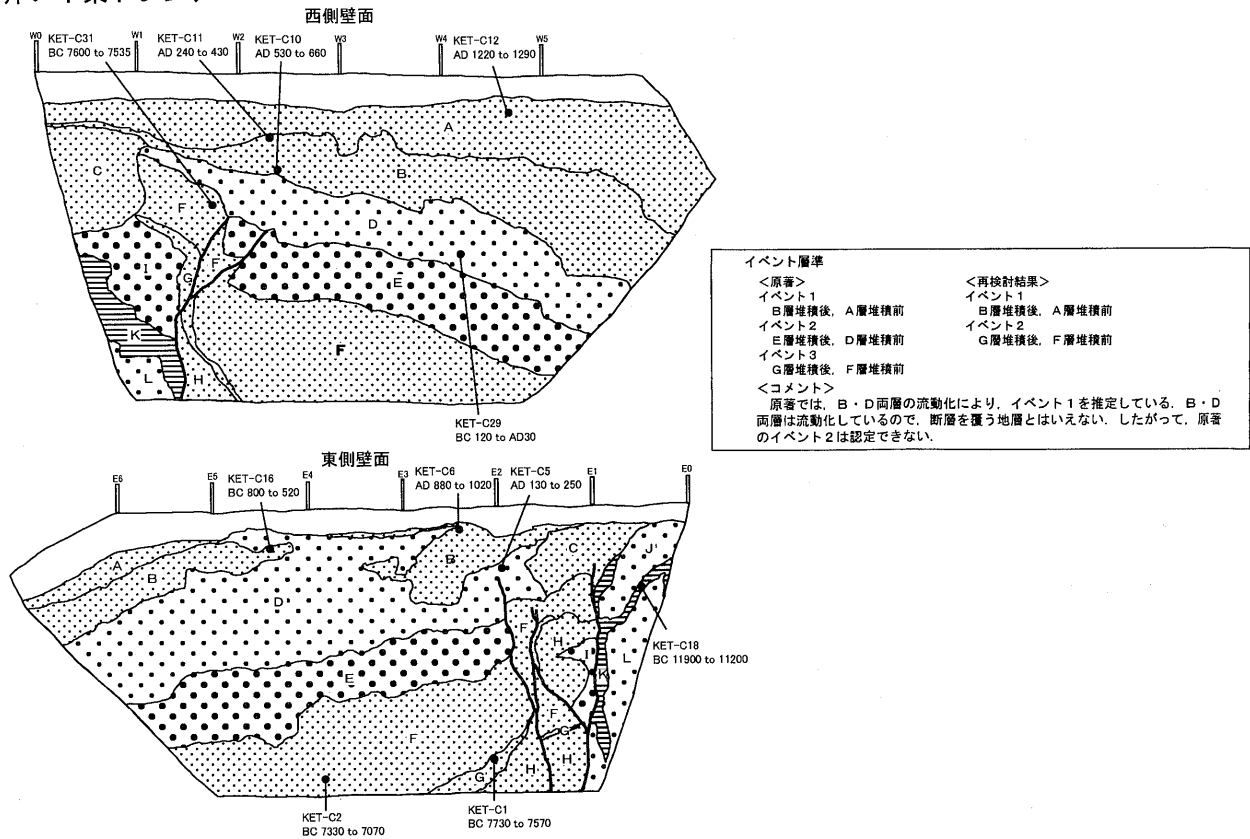


図-16 岸ノ下東トレンチ壁面のスケッチ。愛媛県(1999)²⁴⁾報告書のスケッチを簡略化した図。

Fig.16. Log of the walls of trench at Kishinoshita-higashi, simplified from Ehime Prefecture (1999)²⁴⁾.

平山トレンチ

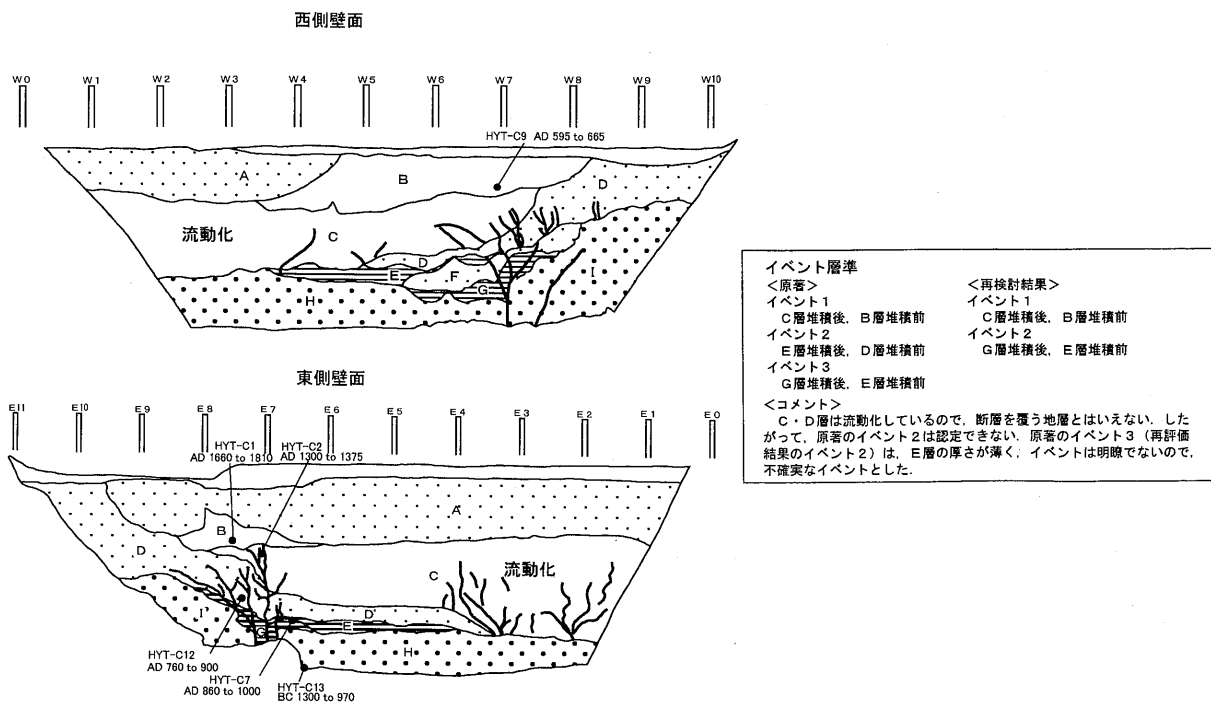


図-17 平山トレンチ壁面のスケッチ。愛媛県(2000)²⁵⁾報告書のスケッチを簡略化した図。

Fig.17. Log of the walls of trench at Hirayama, simplified from Ehime Prefecture (2000)²⁵⁾.

(7) 地層の流動化

地層の流動化は液状化現象と同様に、イベント層準を把握するうえで重要な情報になる。しかし、断層活動と同時に、地層が流動化している可能性が高いので、流動化した地層は断層を覆う地層とはいえない。イベント層準の認定で誤解しやすいので注意する必要がある。

文献

- 1) 岡田篤正 (1992) 中央構造線活断層系の活動区の分割試案. 地質学論集, No.40, 15-30.
- 2) 岡田篤正 (1968) 阿波池田付近の中央構造線の新期断層運動. 第四紀研究, 7, 15-26.
- 3) 岡田篤正 (1970) 吉野川流域の中央構造線の断層変位地形と断層運動速度. 地理学評論, 43, 1-21.
- 4) 岡田篤正・寒川 旭 (1976) 和泉山地南縁における中央構造線活断層系の活動様式と断層変位速度. MTL, No.1, 37-47.
- 5) 後藤秀昭・丹羽俊二・中田 高・岡田篤正・堤 浩之 (1998) 1 : 25,000都市圏活断層図「松山」. 国土地理院.
- 6) 後藤秀昭・中田 高・岡田篤正・堤 浩之・丹羽俊二・小田切聡子 (1999) 1 : 25,000都市圏活断層図「池田」. 国土地理院.
- 7) 中田 高・後藤秀昭・岡田篤正・堤 浩之・丹羽俊二 (1998) 1 : 25,000都市圏活断層図「西条」. 国土地理院.
- 8) 中田 高・後藤秀昭・岡田篤正・堤 浩之・丹羽俊二・小田切聡子 (1999) 1 : 25,000都市圏活断層図「脇町」. 国土地理院.
- 9) 岡田篤正・堤 浩之・中田 高・後藤俊昭・丹羽俊二 (1998) 1 : 25,000都市圏活断層図「郡中」. 国土地理院.
- 10) 岡田篤正・堤 浩之・中田 高・後藤俊昭・丹羽俊二・小田切聡子 (1999a) 1 : 25,000都市圏活断層図「川島」. 国土地理院.
- 11) 岡田篤正・堤 浩之・中田 高・後藤俊昭・丹羽俊二・小田切聡子 (1999b) 1 : 25,000都市圏活断層図「徳島」. 国土地理院.
- 12) 堤 浩之・岡田篤正・中田 高・後藤秀昭・丹羽俊二 (1998a) 1 : 25,000都市圏活断層図「新居浜」. 国土地理院.
- 13) 堤 浩之・岡田篤正・中田 高・後藤秀昭・丹羽俊二・小田切聡子 (1998b) 1 : 25,000都市圏活断層図「伊予三島」. 国土地理院.
- 14) 森野道夫・岡田篤正 (2002a) トレンチ調査結果の再検討に基づく四国中央構造線活断層系の活動履歴. 活断層・古地震研究報告, No.2, 153-182.
- 15) Weldon, R. J., II, McCalpin, J. P., and Rockwell, T. K. (1996) Paleoseismology of strike-slip tectonic environments. In McCalpin ed. Paleoseismology, 271-329, Academic Press.
- 16) Sylvester, A. G. (1988) Strike-slip faults. Geological Society of American Bulletin, 100, 1666-1703.
- 17) 徳島県 (2000) 徳島県活断層調査報告書—中央構造線断層帯 (讃岐山脈南縁) に関する調査—. 215p.
- 18) 森野道夫・岡田篤正・中田 高・松波孝治・日下雅義・村田明広・水野清秀・能見忠歳・谷野宮恵美・池田小織・原 郁夫 (2001) 徳島平野における中央構造線活断層系の活動履歴. 地質雑, 107, 681-700.
- 19) 森野道夫・岡田篤正・中田 高・松波孝治・日下雅義・村田明広・水野清秀・能見忠歳・谷野宮恵美・池田小織・吉田堯史・原 郁夫 (2002b) 中央構造線活断層系三野断層の最新活動時期. 地学雑, 111, 661-683.
- 20) 後藤秀明 (1998) 吉野川北岸における中央構造線活断層系の再検討. 第四紀研究, 37, 299-313.
- 21) 高田圭太・中田 高・後藤秀昭・岡田篤正・原口強・松木宏彰 (1998) 徳島平野低地部に認められた中央構造線活断層系鳴門南断層の変位地形. 活断層研究, No.17, 97-105.
- 22) 原 郁夫 (1999) 褶曲の見方. 深田研ライブラリー No.11, 225p.
- 23) 岡田篤正・森野道夫・中田 高・村田明広・水野清秀・能見忠歳・谷野宮恵美・池田小織・原 郁夫 (2000) 中央構造線活断層系三野断層のトレンチ調査. 地質雑, 106, 口絵 X X III - X X IV.
- 24) 愛媛県 (1999) 平成10年度地震関係基礎調査交付金 中央構造線断層帯 (愛媛県北西部・石鎚山脈北縁) に関する調査報告書. 416p.
- 25) 愛媛県 (2000) 平成11年度地震関係基礎調査交付金 中央構造線断層帯 (愛媛県北西部・石鎚山脈北縁・讃岐山脈南縁) に関する調査報告書. 421p.